



Freon Fra Fjernvarmerør – En Overset Risiko For Indeklima Og Grundvand?

Kjeldsen, Peter; Mogensen, Susanne B.; Langeland, Majbrith

Published in:
Nye stoffer

Publication date:
2011

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Kjeldsen, P., Mogensen, S. B., & Langeland, M. (2011). Freon Fra Fjernvarmerør – En Overset Risiko For Indeklima Og Grundvand? In *Nye stoffer* (pp. 31-41). ATV Jord og Grundvand. http://www.atv-jord-grundvand.dk/index.php?option=com_content&view=article&id=187:nye-stoffer&catid=47:modearkiv&Itemid=73

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

FREON FRA FJERNVARMERØR – EN OVERSET RISIKO FOR INDEKLIMA OG GRUNDVAND?

Docent, undervisningschef Peter Kjeldsen, DTU Miljø
Civilingeniør Susanne B. Mogensen, Grontmij A/S
Civilingeniør, gruppeleder Majbrith Langeland, Grontmij A/S

ATV JORD OG GRUNDVAND

Nye stoffer

Møde 12. oktober 2011

RESUME

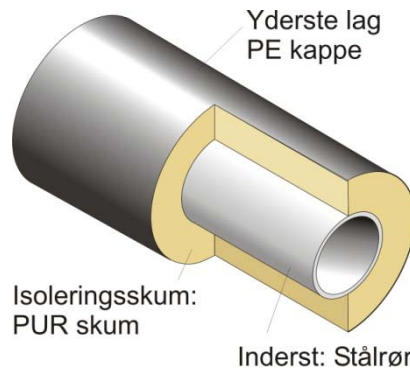
Isoleringsskum i fjernvarmerør er fremstillet med brug af fluorerede og klorerede flygtige stoffer (CFC-11 og 1,1,1-TCA), som langsomt frigives til jorden under brug. Den videre skæbne for de flygtige stoffer efter at de frigives til jorden er ukendt, men fordampning til atmosfæren, nedbrydning, og transport til grundvandszonen er mulige styrende processer. Der udføres en risikovurdering af grundvandsforureningen, hvor stoffrigivelsesraten fra fjernvarmerørene estimeres. Risikovurderingen gennemføres for et udvalgt område. Hvis det værst tænkelige tilfælde betragtes, hvor alt frigivet stof opløses i nettonedbøren (dvs intet tab via nedbrydning eller afgivelse til atmosfæren), opnås koncentrationer i grundvandsdannelsen på cirka 400 gange grundvandskvalitetskriteriet. Indledende undersøgelser viser høje indhold af CFC-11 i poreluften i områder tæt på fjernvarmerør. De høje indhold i poreluften betyder at man også bør interessere sig for risikoen for påvirkning af indeklimaet i nærliggende bygninger, specielt i områder hvor 1,1,1-TCA har været benyttet. Det konkluderes at problemet bør belyses yderligere bl.a. ved måling af tilstedeværelse af 1,1,1-TCA, CFC-11, samt potentielle nedbrydningsprodukter i poreluft, porevand, samt terrænnært grundvand under udvalgte vejstrækninger hvor fjernvarmerør er nedgravet.

BAGGRUND

Fjernvarme udgør en meget væsentlig andel af varmeforsyningen i Danmark. Ifølge Danske Fjernvarmeværkers Forening (DFF) er nu 60% af alle danske hjem tilsluttet et fjernvarmenet. Fjernvarmen distribueres via et netværk af isolerede rør. Siden 1962 har der været anvendt såkaldte præisolerede fjernvarmerør. I Danmark er der i alt cirka 40.000 km præisolerede fjernvarmerør (inklusive stikledningsrør) /1/.

Figur 1 viser et snit gennem et præisoleret fjernvarmerør. Røret består af a) et medierør – (som oftest af stål), som det varme vand løber i, b) et kapperør (som oftest af polyethylen) til beskyttelse af c) isoleringen, som ligger i hulrummet mellem medierør og kapperør. Isoleringen består af polyurethanskum (PUR-skum). Til fremstilling af isoleringen benyttes et opskumningsmiddel, som fra starten af 60'erne og frem til 1996 udgjordes af fluorocarboner, langt overvejende CFC-11 (CCl_3F , trichlorofluoromethan eller freon i daglig tale). CFC-11 er det kraftigste ozonnedbrydende stof, og blev i henhold til Montreal-protokollen, forbudt i vestlige lande fra 1. januar 1996. Alle fjernvarmerørsproducenter i Danmark benyttede CFC-11 frem til denne dato, på nær én producent (firmaet I.C. Møller i Fredericia, eksisterer ikke mere), som fra 1990-1994 benyttede en blanding af TCA (1,1,1-TCA, trichloroethan) og mindre mængder HCFC-22 (CHClF_2 , chlorodifluoromethan). Begge stoffer har et væsentlig lave ozonnedbrydningspotentiale. Fra 1996 og frem har der været anvendt forskellige hydrocarboner (cyclo-pentan, mm), som hverken har potentiale overfor ozonnedbrydning eller global opvarmning /1/.

De benyttede halocarboner var alle kendetegnet ved at have en god isoleringsevne, samtidig med at stoffet frigives ganske langsomt fra isoleringsskummet. Herved bibeholdes isoleringens høje isoleringsevne i mange år. Det samme princip har været anvendt i køleskabe og lign., som har været genstand for flere undersøgelser for at vurdere nedgangen i isoleringsevne grundet uddiffusion af opskumningsmidlet /2/. Diffusionen ud af fjernvarmerørene er nogle steder skønnet at andrage 0,5-1% årligt af det initiale indhold af opskumningsmiddel i isoleringen /1/.



Figur 1 Opbygning af et præisoleret fjernvarmerør

Præisolerede fjernvarmerør placeres direkte i jorden, idet der først laves en udgravning, hvori frem- og tilbageløbsstrengen placeres, se Figur 2. Der efterfyldes med sand/grus, herefter tilfyldning (formentlig de lokale jordmaterialer). Langt de fleste fjernvarmerør er anlagt under vejnettet, og derfor er udgravningen oftest belagt med en befæstning bestående af et bærelag og et asfaltlag. Stikledninger kan dog ligge uden befæstning oven over.

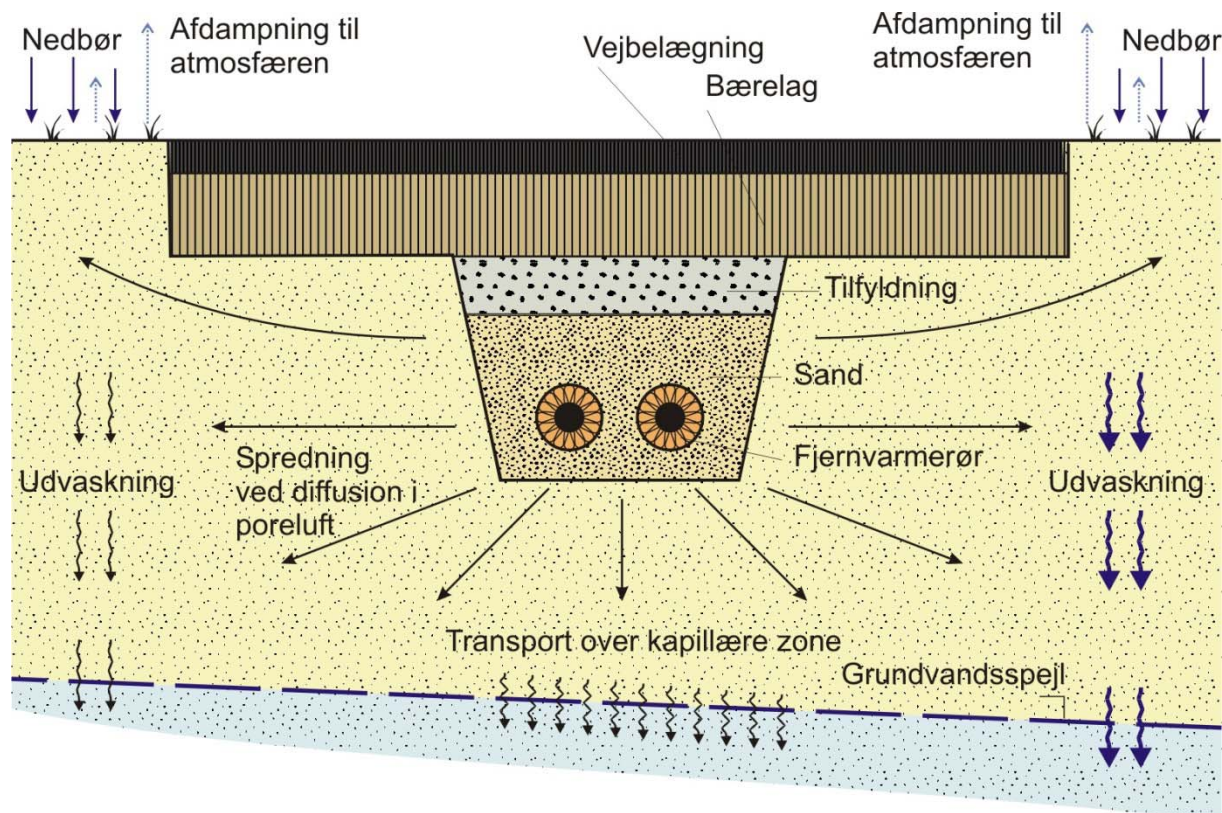
Præisolerede fjernvarmerør afgiver som beskrevet flygtige organiske stoffer til undergrunden med et potentiale for overførsel til grundvandet og indtrængning i bygninger med der af følgende potentielle indeklimaproblemer. For CFC-11 - det primære benyttede stof før 1996 – findes der ingen fastsat grundvandskvalitetskriterium eller afdampningskriterium. Stoffet er kendetegnet ved at have en lav giftighed. Stoffet vil dog under visse forhold kunne nedbrydes til mere toksiske nedbrydningsprodukter (se næste afsnit). Det alternative stof, 1,1,1-TCA, er toksisk og har et grundvandskvalitetskriterium på 1 µg/l og et afdampningskriterium på 0,5 mg/m³.

Denne artikel vil beskrive en indledende risikovurdering af det skitserede problem, som blev udført og rapporteret for en del år tilbage /3/, præsentere indledende målinger af poreluft og grundvand for CFC-11, samt perspektivere problemet og give forslag til yderligere undersøgelser.

KONCEPTUEL MODEL FOR STOFSPREDNING I UNDERGRUNDEN

Figur 2 viser en konceptuel model af den potentielle spredning af opskumningsmidlet i undergrunden. Figuren viser et simpelt tilfælde med en umættet zone af begrænset tykkelse med et underliggende grundvandsførende magasin. I mange tilfælde består jordlagene af moræneler med indlagte sandslirer og lignende. I sådanne tilfælde vil spredningsmønstret være mere komplekst end skitseret på figuren. Umiddelbart efter etableringen vil opskumningsmidlet begynde at diffundere ud gennem kapperøret og ud i det omgivende materiale, som oftest et sandet materiale. Stoffet (CFC-11 eller TCA) frigives til poreluften i sandet, hvor der vil ske en videre spredning i poreluften ved diffusion, samtidig med at en del af opskumningsmidlet optages i porevandet, idet opskumningsmidlet er opløseligt i vand. Stoffet kan

herefter blive transporteret ud i de omkringliggende naturlige jordlag, hvor der sker yderligere overførsel til porevand, samt (i mindre grad) sorption til jordpartiklerne.

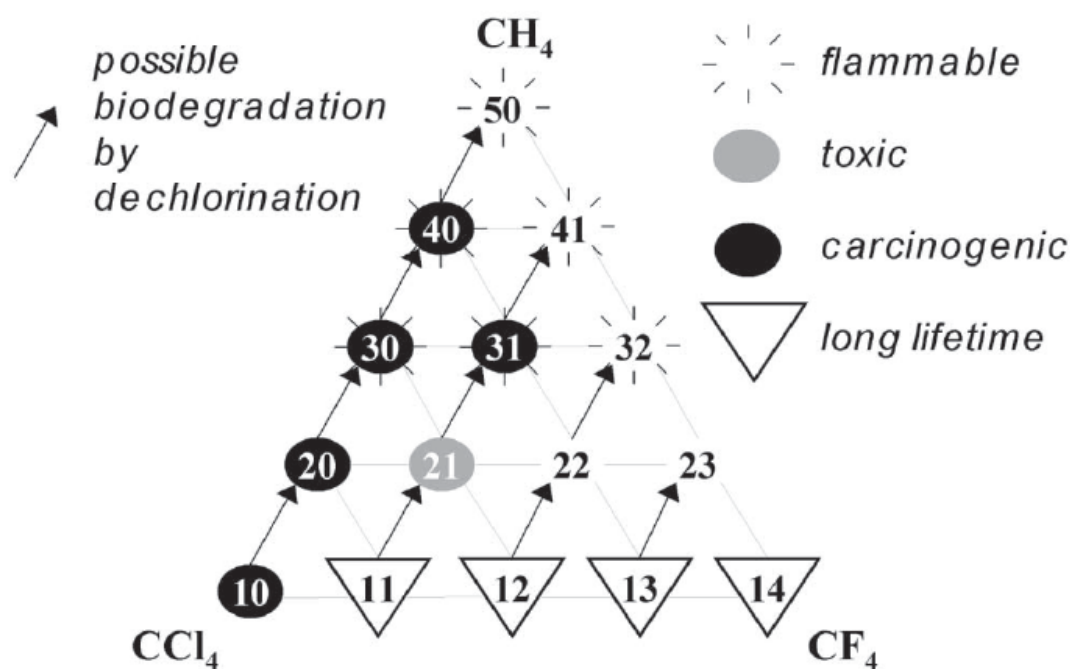


Figur 2 Konceptuel model for spredning af opskumningsmiddel fra fjernvarmerør

På grund af vejbelægningen kan der ikke ske en direkte afgivelse af stoffet gennem den overliggende jordoverflade til atmosfæren. Der kan herefter ske en transport med nedsivende vand til det førstkomende grundvandsmagasin. En sådan transport er formentlig begrænset til randzonen af vejen, da der ikke sker en nedsivning under vejen pga den tætte overflade. Stoffet indeholdt i poreluften kan desuden transporteres ind i nærliggende huse, hvor især transport via ledningsgraven kan være relevant, da ledningsgraven kan stå i direkte kontakt til det sted, hvor fjernvarmerørerne føres ind i bygningen. Et tilstedeværende undertryk i huset og en utæt ledningsgennemføring i fundamentet kan eventuelt forøge stofindtrængningen.

I de fleste tilfælde vil der være aerobe forhold i den umættede zone. Dette forhold gør at nedbrydningsprocesser formentlig ikke spiller en større rolle i den umættede zone. Hverken 1,1,1-TCA eller CFC-11 vil nemlig være mikrobielt nedbrydeligt under aerobe forhold. Hvis stofferne derimod er trængt ned i anaerobe grundvandsførende lag kan 1,1,1-TCA nedbrydes mikrobielt og abiotisk. Nedbrydningen kan foregå med dannelse af nedbrydningsprodukterne 1,1-DCA og MCA via såkaldte dekloreringsprocesser. I andre tilfælde er der observeret

anaerob nedbrydning af 1,1,1-TCA med dannelse af 1,1-DCE og vinylchlorid. Der findes grundvandskvalitetskriterier i Danmark for nogle af de nævnte nedbrydningsprodukter (1,1-DCA: 1 µg/l, vinylchlorid: 0,2 µg/l). I øvrigt vides det at 1,1,1-TCA kan nedbrydes kemisk (abiotisk), og at dette ikke kræver anaerobe tilstande /4/.



Figur 3 Oversigt over potentielle anaerobe nedbrydningsveje for CFCer (inklusiv den fuldt klorede halomethan, CCl_4) samt egenskaber af CFCerne og deres nedbrydningsprodukter, /5/. Figuren viser f.eks. at CFC-11 (CCl_3F) nedbrydes til HCFC-21 (CHCl_2F), som er toksisk.

CFC-11 (CCl_3F) kan nedbrydes anaerobt ved deklorering til CHCl_2F (HCFC-21) og videre til CH_2ClF (HCFC-31)- se Figur 3, /5/. Den videre deklorering til CH_3F (HFC-41) er teoretisk mulig, men der er ingen undersøgelser, som har påvist at denne reaktion forløber i jord og grundvand. HCFC-21 og HCFC-31 er betydelig mere toksiske end udgangsstoffet CFC-11 /5/. Der findes ingen grundvandskvalitetskriterier for HCFC-21 og HCFC-31 i Danmark.

RISIKOVURDERING AF FJERNVARMERØR SOM KILDE TIL GRUNDVANDSFORURENING

Den ovenstående konceptuelle model viser at der er en potentiel mulighed for at fjernvarmerør udgør en kilde til grundvandsforurening, men det vil klart afhænge af hvor stor en frigivelse der vil være, samt hvilken skæbne, de frigivne stoffer vil få i undergrunden efter frigivelse fra fjernvarmerørene. Der blev derfor tilbage i 2004 gennemført en indledende risikovurdering af problematikken. Risikovurderingen indeholdte følgende tre elementer:

1. Beregning af størrelsen af stoffrigivelsen for forskellige rørstørrelser som funktion af tiden
2. Beregning af den gennemsnitlige årlige stofafgivelse pr meter fjernvarmerør ud fra kendskab til typisk anvendt størrelsesfordeling af fjernvarmerør i Danmark
3. Vurdering af stofkoncentrationen i grundvandsdannelsen i et "worse case scenario" (idet det forudsættes at alt frigivet stof overføres til grundvandsdannelsen) med benyttelse af data for et udvalgt dansk fjernevarmenet.

Risikovurderingen er nærmere beskrevet i /3/. Resultatet af risikovurderingen viser en stofkoncentrationen i grundvandsdannelsen på 360 µg/l i worse case scenariet, hvor alt frigivet stof overføres til det nedsivende vand. I tilfælde hvor det har været TCA som har været anvendt ved fabrikation af fjernvarmerørene er koncentrationen 360 gange højere end grundvandskvalitetskriteriet. Selv i tilfælde af, at en væsentlig andel af det frigivne stof afdamper til atmosfæren er der langt ned til grundvandskvalitetskriteriet. Det er værd at pointere at rørene oftest ligger under et tæt dække i form af vejbelægning som vil reducere afdampningen til atmosfæren betydeligt.

INDLEDENDE SCREENING AF CFC-11 I PORELUFT OG GRUNDVAND

Grontmij (i form af det tidligere firma, Carl Bro) udførte tilbage i 2004-2006 undersøgelser af 20 nuværende og tidligere renserigrunde i det daværende Århus Amt. Første fase i undersøgelserne var en grundig historisk kortlægning af driften for de enkelte renserier, herunder kortlægning af hvilke kemikalier der var anvendt i renseriet. Data til den historiske kortlægning blev indsamlet ved arkivgennemgang, interviews med tidligere ejere, lejere, viceværter osv. De historiske gennemgange af renserilokaliteterne i Århus Amt viste i langt de fleste af tilfældene, at der havde været anvendt klorerede opløsningsmidler og terpentin som rensmiddel. Kun et enkelt renseri havde med sikkerhed i en periode på cirka fire år anvendt CFC-113 (Cl₂FC-CF₂Cl). Stoffet CFC-11 er med sikkerhed ikke blevet anvendt på renserier i Danmark.

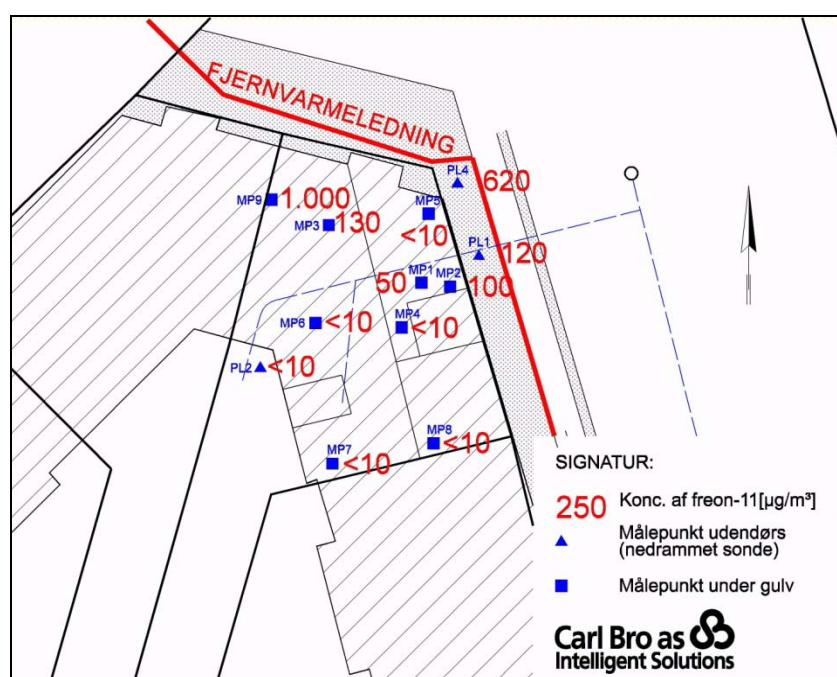
Undersøgelsernes anden fase bestod i poreluftmålinger under gulv og fra nedrammede sonder på udendørsarealer, indeklimate målinger og borer, hvorfra der blev udtaget både jord- og vandprøver.

Poreluftprøverne blev analyseret med MIMS (Mass Inlet Membran Spectrometri). Endvidere blev der i udvalgte punkter udtaget supplerende poreluftprøver på kulrør, som blev analyseret på traditionel vis (GC-ECD) ved akkrediteret laboratorium. Anvendelse af MIMS-analyser har den fordele, at den foretages on-site, at prøvetagningsproceduren er hurtig, samt at en erfaren MIMS-operatør kan detektere andre stoffer, end de der typisk analyseres for ved en traditionel akkrediteret kulrørsanalyse.

Ved undersøgelse af de 20 renserigrunde viste MIMS-analyserne, at der overraskende nok blev fundet CFC-11 i flere af målepunkterne fra ca. halvdelen af lokaliteterne. Koncentrationerne af CFC-11 lå i intervallet 50-29.000 µg/m³. Det kan afvises, at CFC-11 kunne være et nedbrydningsprodukt af CFC-113. Da der ikke er påvist CFC-113 i nogle af prøverne, er det

desuden usandsynligt at CFC-11 kan have forekommet som urenheder i benyttet CFC-113. Muligheden for at det fundne CFC-11 ikke hidrørte fra renseridriften, men fra nærliggende fjernvarmerør blev derfor fremtaget med henvisning til den rapporterede risikovurdering /3/.

Det blev derfor undersøgt, om der var en sammenhæng mellem påvisning af CFC-11 og placering af fjernvarmerør. I figur 4 og 5 er der vist eksempler på to af lokaliteterne i det daværende Århus Amt. På de to figurer er CFC-11-koncentrationerne påskrevet ved de enkelte målepunkter, ligesom fjernvarmeledningens forløb er markeret.



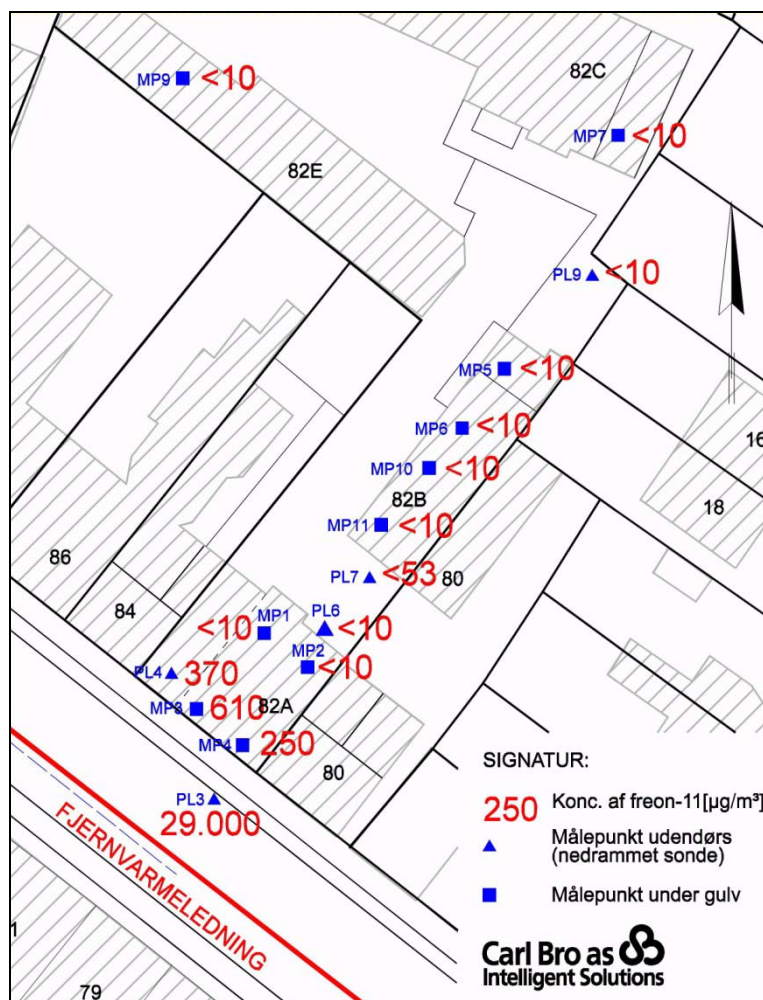
Figur 4 Indhold af CFC-11 i poreluften i område tæt på fjernvarmeledning ved lokalitet 1.

Det ses, at de målepunkter, hvori der findes CFC-11, er placeret tættest på fjernvarmeledningen, og der ses også en tendens til, at koncentrationen aftager med afstanden til ledningen. Dette er generelt gældende for de lokaliteter, hvor der blev påvist indhold af CFC-11 i poreluften. Samme tendens er set ved puljeundersøgelser af ca. 40 renserier i 3 andre amter. Det er ikke undersøgt, hvornår de enkelte fjernvarmerør er etableret, og hvilke produkter der er anvendt, men resultaterne fra de ca. 60 lokaliteter indikerer kraftigt, at CFC-11 i poreluft stammer fra fjernvarmerør.

Det kan således sandsynliggøres at hvis der har været benyttet fjernvarmerør, hvor 1,1,1-TCA har været anvendt i stedet for CFC-11 ville man også finde tilsvarende forhøjede TCA koncentrationer i poreluften – med en lignende sammenhæng med afstanden til fjernvarmerør. Ved MIMS-målingerne vil 1,1,1-TCA være sværere at observere, hvis der også er indhold af tetrachlorethylen og trichlorethylen i prøven, hvorimod CFC-11 falder uden for området med de klorerede opløsningsmidler. På enkelte målepunkter er der udtaget poreluftprø-

ver på kulrør for akkrediteret analyse. Her sås der i enkelte prøver, hvor der ellers ikke observeredes betydelige indhold af de øvrige klorerede opløsningsmidler, forhøjede indhold af 1,1,1-TCA. Der er her tale om prøver, hvori der også er påvist indhold af CFC-11. Der er dog tale om enkeltstående tilfælde, så det kan ikke konkluderes, om der er en sammenhæng mellem fjernvarmerør eller renseridrift. Kulrørene blev ikke analyseret for indhold af CFC-11.

Region Midtjylland har udført en række analyser af grundvandsprøver primært udtaget fra boringer etableret i forbindelse med renseriundersøgelser. Undersøgelserne har således ikke været systematiske i forhold til en eventuelt påvirkning fra konkrete fjernvarmerør. Ud af 290 grundvandsanalyser blev der fundet CFC-11 i 13% af prøverne, oftest i koncentrationer under 1 µg/l, dog med enkelte højere koncentrationer – op til 60 µg/l, /6/. Koncentrationerne er dog betydelig højere end hvad man normalt finder i grundvand, hvor CFC-11 hidrører fra nedbøren.



Figur 5 Indhold af CFC-11 i poreluften i område tæt på fjernvarmeledning ved lokalitet 2.

PERSPEKTIVER OG FORSLAG TIL YDERLIGERE UNDERSØGELSER

Overordnet for Danmark vil det samlede fjernvarmeopland med rør indeholdende TCA udgøre ca. 80 km² baseret på et skøn af forbrug af TCA til fjernvarmerør benyttet i Danmark. Det er klart at væsentlige dele af rørene vil ligge i bymæssige områder, hvor grundvandsinteressen er begrænset. Der er dog stadig adskillige byer, som indvinder grundvand indenfor byens grænser, og samtidig når fjernvarmedistributionen også ud i mindre bysamfund, som kan ligge i områder med særlige drikkevandsinteresser. Det samlede opland med rør indeholdende CFC-11 vil skønsmæssigt udgøre ca. 700 km², hvis den udregnede rørtæthed i det udvalgte danske fjernvarmenet (benyttet i risikovurderingen) kan anses repræsentativ for hele Danmark. En tilsvarende risikovurdering for CFC-11-opskummede rør vil resultere i helt tilsvarende koncentrationer i grundvandsdannelsen som gældende for TCA-opskummede rør.

Med de gennemførte indledende undersøgelseres resultater er det sandsynliggjort, at der slipper CFC-11 ud fra fjernvarmerørene i ikke ubetydelige koncentrationer til poreluften. Dette betyder, at der er en ikke ubetydelig risiko for at CFC-11 vil kunne udvaskes til grundvandet samt afdampe til atmosfæren ved ikke faste belægninger. Dette forhold er dog ikke belyst. Tilsvarende resultater kan forventes i scenarier hvor der i stedet har været anvendt 1,1,1-TCA. Her vil der desuden være en umiddelbar risiko for at poreluftens indhold af TCA kan trænge ind i nærliggende huse – primært via de grusfyldte ledningsgrave.

Det vurderes således at der er en væsentlig potentiel risiko for at fjernvarmenettet kan bidrage til grundvandsforureningen i bymæssige områder samt en øget risiko for påvirkning af indeklimaet i nærliggende bygninger. Det er dog umuligt på det nuværende vidensgrundlag, at vurdere præcis hvor meget der frigives af forurenende stoffer fra fjernvarmerørene, samt især hvor stor en andel der når at afdampe til atmosfæren inden det transporteres ned i grundvandszonen. Det vides heller ikke om der vil dannes nedbrydningsprodukter, som er kendt for at være mere toksiske end moderstofferne.

Det må derfor konkluderes, at der er et stort behov for at igangsætte undersøgelser blandt andet af forekomsten af opskumningsmiddel i poreluft omkring fjernvarmerør og i det øvre grundvand under fjernvarmenet. Der bør fokuseres på flere områder så scenarier, hvor der henholdsvis har været benyttet CFC-11 og TCA, indbefattes. Undersøgelserne bør også omfatte de potentielle nedbrydningsprodukter.

Viser det sig efter yderligere undersøgelser, at der er en væsentlig nedsivning, kan problemet på ingen måde sidestilles med en forurenede industrigrund hvor klorerede opløsningsmidler er trængt ned i jorden. Kilden må i stedet betragtes som en diffus kilde, hvor det formentlig ikke vil være praktisk og økonomisk muligt at gribe ind med tekniske afværigeløsninger. Det er dog tvingende nødvendigt at problemets natur klarlægges, at de faktorer der bestemmer om nedsivningen er stor eller lille under givne forhold belyses, samt at der laves langsigtede prædiktioner af konsekvensen af nedsivning på grundvandskvaliteten i berørte grundvandsoplande. Også potentielle indeklimaproblemer, især hidrørende fra TCA bør overvejes nøje.

REFERENCER

- /1/ Larsen, B.(1999): Miljøvurdering af bortskaffelsen af præisolerede fjernvarmerør. Rapport til firmaet Freonfri Præørsgenbrug. Envirotech, Forskerparken CAT, Roskilde.
- /2/ Kjeldsen, P. & Jensen, M.H. (2001): Release of CFC-11 from disposal of polyurethane foam waste. *Environmental Science and Technology*, 35, 3055-3063.
- /3 / Kjeldsen, P. (2004): Udgør fjernvarmenettet en trussel mod grundvandet. *Vand & Jord*, 11(3), 105-108.
- /4/ Scheutz, C., Durant, N.D., Hansen, M.H. & Bjerg, P.L. (2011): Natural and enhanced anaerobic degradation of 1,1,1-trichloroethane and its degradation products in the subsurface – A critical review. *Water Research*, 45, 2701-2723.
- /5/ Höhener, P., Werner, D., Balsinger, C. & Pasteris, G. (2003): Worldwide occurrence and fate of chlorofluorocarbons in groundwater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 33, 1-29.
- /6/ Andersen, K.M. (2010): Personlig kommunikation med Karsten Munch Andersen, Region Midtjylland.